

Rec'd EPO 27 APR 2005

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 32843



REC'D 30 DEC 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 50 633.7

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Anmeldetag: 30. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber: Osram Opto Semiconductors GmbH, Regensburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Herstellen einer Leuchtdioden-Licht-
quelle mit Lumineszenz-Konversionselement

IPC: H 01 L 33/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 4. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag

Beschreibung

Verfahren zum Herstellen einer Leuchtdioden-Lichtquelle mit Lumineszenz-Konversionselement

5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen einer Leuchtdioden-Lichtquelle, bei der zumindest ein Teil einer von einem Chip ausgesandten Primärstrahlung wellenlängenkonvertiert wird. Ein Lumineszenz-Konversionselement ist hierbei in Form einer dünnen Schicht direkt auf die Chipoberfläche aufgebracht.

10 Ein Bauelement mit Lumineszenz-Konversionselement ist beispielsweise aus der Offenlegungsschrift WO 97/50132 bekannt.
15 Es umfasst einen Halbleiterchip, welcher im Betrieb eine Primärstrahlung aussendet, und ein Lumineszenz-Konversionselement, durch das ein Teil der Primärstrahlung in ein Licht von anderer Wellenlänge konvertiert wird. Die resultierende optisch wahrnehmbare Strahlung der Leuchtdioden-Lichtquelle er-
20 gibt sich durch eine Überlagerung der beiden Strahlungen, so dass sich dadurch insbesondere auch weißes Licht abstrahlende Lichtquellen erzeugen lassen.

25 Für gewöhnlich weist das Lumineszenz-Konversionselement einen Leuchtstoff auf, welcher in einer Matrixsubstanz eingebettet ist. Als Leuchtstoff eignen sich beispielsweise anorganische Leuchtstoffe, wie mit seltenen Erden (insbesondere Ce) dotierte Granate, oder organische Leuchtstoffe, wie Perylen-Leuchtstoffe. Weitere geeignete Leuchtstoffe sind beispielsweise in der WO 98/12757 aufgeführt, deren Inhalt insofern hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

30 Um eine besonders gute Durchmischung der Strahlungen und somit eine farblich weitgehend homogene resultierende Strahlung zu erhalten, ist es zweckmäßig, den Leuchtstoff direkt und gleichmäßig auf der Chipoberfläche aufzubringen, so dass sich möglichst kleine Weglängenunterschiede der Primärstrahlung

durch das Lumineszenz-Konversionselement ergeben. Es ist z.
B. möglich, das Lumineszenz-Konversionsmaterial in Form einer
dünnen homogenen Schicht von konstanter Dicke auf die Leucht-
dioden-Chipoberfläche aufzubringen, noch bevor der Chip auf
5 ein Leadframe montiert und elektrisch kontaktiert wird. Das
Aufbringen dünner Schichten lässt sich auf unterschiedliche
Arten realisieren und eignet sich insbesondere zur gleichzei-
tigen Herstellung mehrerer Leuchtdioden-Lichtquellen aus
Leuchtdioden-Chips, die sich zusammen mit einer Vielzahl
10 gleichartiger Chips in einem Waferverbund befinden. Zudem
werden dadurch auch Farbortschwankungen der Leuchtdioden-
Lichtquellen aufgrund von Sedimentation der Konversionsstoffe
weitestgehend vermieden.

15 Ein einfaches Aufbringen einer dünnen Schicht ist jedoch
nicht ohne weiteres möglich, wenn die verwendeten Leucht-
dioden-Chips vorderseitig (d.h. auf der Seite, die zur Ab-
strahlrichtung hin gewandt ist) elektrische Kontaktsschichten
aufweisen, wie das z. B. bei GaN-basierten Dioden auf SiC-
20 Substrat in der Regel der Fall ist. Beim Beschichten von
Oberflächen solcher Leuchtdioden-Chips ist darauf zu achten,
dass die elektrische Kontaktierbarkeit gewährleistet bleibt.

25 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde,
ein Verfahren zu entwickeln, mit dem eine einfache und ko-
stengünstige Beschichtung von Leuchtdioden-Chips mit vorder-
seitigem elektrischen Kontakt ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 ge-
30 löst. Die Ansprüche 2 bis 11 beinhalten vorteilhafte Weiter-
bildungen der Erfindung.

Ein Verfahren nach Anspruch 1 ermöglicht insbesondere eine
gleichzeitige Herstellung mehrerer Leuchtdioden-Lichtquellen
35 aus gleichen Leuchtdioden-Chips im Waferverbund.

Zudem ist bei diesem Verfahren vorteilhafterweise eine einfache Kontrolle des Farbortes (CIE-Farbtafel) der Leuchtdioden-Lichtquelle und dadurch auch ein kontrolliertes Einstellen des Farbortes während des Herstellungsprozesses möglich.

5

Bei dem Verfahren wird ein Leuchtdioden-Chip bereitgestellt, der einen oberseitigen elektrischen Kontakt in Form einer elektrischen Kontaktfläche aufweist. Dieser elektrische Kontakt wird nachfolgend erhöht, indem er durch Aufbringen eines elektrisch leitenden Materials auf die elektrische Kontaktfläche verdickt wird. Die Höhe des Kontaktes sollte mindestens so groß sein wie die letztlich vorgesehene Dicke der Lumineszenz-Konversionsschicht. Bei einem weiteren Verfahrensschritt erfolgt ein Beschichten der Chipoberfläche mit einem Lumineszenz-Konversionsmaterial. Das aufgetragene Lumineszenz-Konversionsmaterial wird nachfolgend mindestens so weit abgedünnt, bis der verdickte oberseitige elektrische Kontakt freigelegt ist.

20

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, die Beschichtung von vorderseitig elektrisch kontaktierbaren Chips ohne Rücksicht auf die vorderseitigen Kontakte durchzuführen. Dadurch wird der aufwendige Vorgang einer Beschichtung mit Freilassen der elektrischen Kontakte (z. B. mittels einer Maske) auf die einfache und kostengünstig zu realisierende Beschichtung einer durchgehenden Oberfläche reduziert. Die oberseitige Kontaktierbarkeit wird durch das nachfolgende Abdünnen der aufgebrachten Schicht realisiert, welches ebenfalls ein einfacher Prozeßschritt ist.

25

Das Lumineszenz-Konversionsmaterial weist vorzugsweise ein strahlungsdurchlässiges Matrixmaterial auf, welches mit einem Leuchtstoff versetzt ist.

30

Das Matrix-Material kann beispielsweise SiO_2 und/oder Al_2O_3 aufweisen, wodurch eine Konsistenz (z. B. die Härte) des Lu-

mineszenz-Konversionsmaterials erreicht werden kann, die sich auf vielfache Art problemlos und kontrolliert abdünnen lässt.

In einer besonders bevorzugten Ausführung des Verfahrens
5 weist das strahlungsdurchlässige Matrix-Material ein Oxid und/oder ein Nitrid auf, dessen Brechungsindex zwischen 1,5 und 3,4 liegt. Durch ein Lumineszenz-Konversionsmaterial, dessen Brechungsindex sich nicht stark von dem der Leuchtdioden-Chipoberfläche unterscheidet und zwischen dem Brechungsindex der Leuchtdioden-Chipoberfläche und dem der Umgebung liegt, können Verluste an Strahlungsintensität aufgrund 10 von Reflexion an Grenzflächen vermieden werden.

Mit besonderem Vorteil lässt sich der Farbort (CIE Farbtafel) 15 der Leuchtdioden-Lichtquelle während des erfindungsgemäßen Verfahrens wegen des oberseitigen elektrischen Kontakts kontrollieren. Diese Kontrolle kann vorzugsweise im Verlauf des Abdünnens des aufgetragenen Lumineszenz-Konversionsmaterials durchgeführt werden und ist möglich, sobald der oberseitige 20 elektrische Kontakt freigelegt ist.

Die Kontrolle des Farbortes der Leuchtdioden-Lichtquelle kann mit besonderem Vorteil verwendet werden, um den Farbort gezielt durch Abdünnen des aufgetragenen Lumineszenz-Konversionsmaterials einzustellen.
25

Das Verfahren eignet sich besonders bevorzugt zur gleichzeitigen Herstellung mehrerer Leuchtdioden-Lichtquellen durch die Verwendung einer Vielzahl gleichartiger Leuchtdioden-Chips, welche sich vorzugsweise noch in einem ursprünglichen Waferverbund miteinander befinden. Dadurch ergibt sich eine deutlich effizientere und kostengünstigere Herstellung der Leuchtdioden-Lichtquellen.
30

35 Da ein Leuchtdioden-Chip Licht nicht nur vorderseitig, sondern auch seitlich abstrahlen kann, ist es bei derartigen Chips von besonderem Vorteil, auch die Flanken der Leucht-

dioden-Chips zumindest teilweise mit Lumineszenz-Konversionsmaterial zu beschichten. Bei der Beschichtung einer Vielzahl von Leuchtdioden-Chips im Waferverbund ist es hier zweckmäßig, vor dem Beschichten entlang von Trennungslinien zwischen den einzelnen Chips Gräben herzustellen, die bei dem nachfolgenden Beschichten der Chips zumindest teilweise mit Lumineszenz-Konversionsmaterial gefüllt werden.

Eine weitere Möglichkeit ist es, den gesamten Waferverbund mit der Unterseite zunächst auf einem Träger fest aufzubringen und daraufhin die Chips aus dem Waferverbund derart zu vereinzeln, dass sie nach wie vor auf dem Träger zusammengehalten werden. Auch dadurch ist gewährleistet, dass die Flanken der Leuchtdioden-Chips bei der nachfolgenden Beschichtung zumindest teilweise mit Lumineszenz-Konversionsmaterial bedeckt werden.

Die Möglichkeit, den Farbort der Leuchtdioden-Lichtquelle im Verlauf des Abdünnens des Lumineszenz-Konversionsmaterials zu überprüfen, lässt sich auch bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur gleichzeitigen Herstellung mehrerer Leuchtdioden-Lichtquellen aus einer Vielzahl gleicher Chips im Waferverbund vorteilhaft nutzen. Das Bestimmen und Erfassen von Farbort und Lage der Leuchtdioden-Lichtquellen im Waferverbund bieten die Möglichkeit, die Leuchtdioden-Lichtquellen nach ihrem Farbort zu sortieren, um somit Leuchtdioden-Lichtquellen von genauerer Farbortspezifikation zu erhalten.

Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich besonders vorteilhaft nutzen, um für die Leuchtdioden-Lichtquellen eines gesamten Waferverbundes einen bestimmten Farbort möglichst genau einzustellen. Da die Höhe von Leuchtdioden-Chips eines Waferverbundes nicht über den gesamten Wafer homogen ist und es zu Höhenschwankungen von beispielsweise 20 µm kommen kann, führt ein gleichmäßiges Abdünnen des Lumineszenz-Konversionsmaterials über den gesamten Wafer hinweg zu unter-

schiedlichen Dicken der Lumineszenz-Konversionsschicht. Dieses Problem kann mithilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens gelöst werden, indem der Wafer in Bereiche mit Leuchtdioden-Lichtquellen von ähnlichem Farbort unterteilt wird, nachdem 5 Farbort und Lage der Leuchtdioden-Lichtquellen des Wafers bestimmt und erfasst wurden. Das Einstellen eines bestimmten Farbortes für jeden dieser Bereiche lässt sich erreichen, indem die Lumineszenz-Konversionsschicht der einzelnen Bereiche 10 bereichsselektiv abgedünnt wird und dabei immer wieder eine Kontrolle des Farbortes von einer der Leuchtdioden-Lichtquellen des jeweiligen Bereichs durchgeführt wird..

Weitere Vorteile und bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von zwei Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren 1a bis 2b. Es zeigen:

Figuren 1a bis 1f: Schematische Schnittansichten eines Wafers bei verschiedenen Verfahrensstadien eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens, und

Figuren 2a und 2b: Schematische Schnittansichten eines Wafers bei verschiedenen Verfahrensstadien eines zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

25

Figur 1a zeigt einen Wafer 1, umfassend ein SiC-Substrat 11 und eine InGaN-basierte epitaktische Halbleiterschichtfolge 10 mit strahlungsemittierenden aktiven Zone (nicht gezeigt). 30 Die aktive Zone weist beispielsweise einen strahlungserzeugenden pn-Übergang oder eine strahlungserzeugende Einfach- oder Mehrfach-Quantenstruktur auf. Solche Strukturen sind dem Fachmann bekannt und werden von daher nicht näher erläutert. Eine Mehrfach-Quantenstruktur ist beispielsweise in der WO 35 01/39282 A2 beschrieben, deren Inhalt insofern durch Rückbezug aufgenommen wird. Auf dem Wafer 1 sind in einem Chipra-

ster jeweils vorderseitig elektrische Kontaktflächen 2 aufgebracht.

Ein weiterer Verfahrensschritt ist in Figur 1b dargestellt,
5 bei dem eine Erhöhung der elektrischen Kontakte erreicht wird, indem ein elektrisch leitfähiges Material 3 auf die elektrischen Kontaktflächen 2 gebracht wird. Das elektrisch leitfähige Material 3 ist hier näherungsweise ellipsoidförmig und kann beispielsweise aus Gold bestehen. Die Tatsache, dass
10 das elektrisch leitfähige Material 3 lediglich eine Mindesthöhe, nicht aber jeweils eine gleiche Höhe haben muß, ist eine weiterer Vorteil des Verfahrens.

Nachfolgend wird, wie in Figur 1c gezeigt, die gesamte vor-
15 derseitige Oberfläche des Waferverbundes 1 mit einem Lumineszenzkonversionsmaterial 4 beschichtet, was z. B. durch Aufdampfen, Sputtern, Spin-Coating oder andere Methoden zur Oberflächenbeschichtung geschehen kann. Das Lumineszenzkonversionsmaterial kann aus einem Ce-dotiertem Granatmaterial
20 bestehen, insbesondere YAG:Ce. Auch bei diesem Schritt kommt es darauf an, dass die aufgebrachte Schicht aus Lumineszenzkonversionsmaterial 4 über dem gesamten Waferbereich eine gewisse Mindestdicke hat.

25 Eine gleichmäßige Dicke der aufgebrachten Schicht Lumineszenzkonversionsmaterial 4 ergibt sich aus dem nachfolgenden Abdünnen der gehärteten Lumineszenzkonversionsschicht, welches in Figur 1d dargestellt ist. Das Abdünnen geschieht abrasiv mittels einer Schleiffläche 5.

30 Sobald das elektrisch leitende Material 3 durch das Abdünnen freigelgt wird, ist eine gezielte elektrische Kontaktierung und Anlegen einer Spannung an Bereiche einzelner Chips möglich. Dies ermöglicht ein Ermitteln des Farbortes des ausgesandten Lichts 6 mittels eines Spektrometers 7, was in Figur 35 1e gezeigt ist. Es wird solange weiter abgedünnt bis die Leuchtdioden-Lichtquellen alle weißes Licht aussenden. Nach-

folgend wird von allen Leuchtdioden-Lichtquellen der jeweilige Farbort und die jeweilige Position auf dem Wafer ermittelt erfasst, z. B. durch das Erstellen einer sogenannten Wafer-map.

5

Figur 1f schließlich zeigt das Vereinzen der Chips aus dem Waferverbund 1 entlang von Trennungslinien 8. Dies kann z. B. mittels Sägen geschehen. Die vereinzelten Chips lassen sich nun nach ihrem Farbort sortieren.

10

Bei dem in den Figuren 2a und 2b veranschaulichten zweiten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens werden, im Unterschied zum oben erläuterten Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 1a bis 1f, vor dem Beschichten mit Lumineszenz-Konversionsmaterial 4 im Chipraster auf dem Wafer 1 vorderseitig entlang von Trennungslinien 13 Gräben 12 erzeugt (Figur 2a). Im weiteren Verlauf des Verfahrens wird auf die Chipvorderseiten so viel Lumineszenz-Konversionmaterial 4 aufgetragen, dass die Schicht über den Gräben 12 mindestens über das auf die elektrischen Kontaktflächen 2 aufgetragene elektrisch leitende Material 3 reicht (Figur 2b). Die Seiten 14 der Gräben 12 werden dadurch vollständig mit dem Lumineszenz-Konversionsmaterial 4 bedeckt. Das in den Gräben 12 aufgebrachte Lumineszenz-Konversionsmaterial 4 bewirkt, dass eine über die Chipflanken ausgekoppelte Strahlung ebenfalls konvertiert wird. Wie in Figur 2b gezeigt, werden die Chips nach dem Abdünnen des Lumineszenz-Konversionsmaterials 4 entlang der Trennungslinien 13 vereinzelt.

25

Die Beschreibung des Verfahrens anhand des Ausführungsbeispiels ist selbstverständlich nicht als Beschränkung der Erfindung auf diese anzusehen. Beispielsweise kann die Chipvorderseite die von der Halbleiterschichtfolge abgewandte Seite des Substrats sein, was etwa bei zur Flip-Chip-Montage vorgesehenen LED-Chips der Fall ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer insbesondere mischfarbigen Leuchtdioden-Lichtquelle, bei der zumindest ein Teil einer von einem Chip ausgesandten Primärstrahlung mittels Lumineszenzkonversion umgewandelt wird,

5 mit den Schritten:

- Bereitstellen eines Chips, der einen vorderseitigen elektrischen Kontakt in Form einer elektrischen Kontaktfläche aufweist,
- Verdicken des vorderseitigen elektrischen Kontaktes durch Aufbringen eines elektrisch leitenden Materials auf die elektrische Kontaktfläche,
- Beschichten des Chips mit einem Lumineszenz-Konversionsmaterial, sowie
- Abdünnen des Lumineszenz-Konversionsmaterials, mindestens bis zur Freilegung des vorderseitigen elektrischen Kontaktes.

20 2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem das Lumineszenz-Konversionsmaterial ein strahlungsdurchlässiges Matrixmaterial aufweist, welches mit einem Leuchtstoff versetzt ist.

25 3. Verfahren nach Anspruch 2,
bei dem das strahlungsdurchlässige Matrixmaterial SiO_2 und/oder Al_2O_3 aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 2,
30 bei dem das strahlungsdurchlässige Matrixmaterial ein Oxid und/oder ein Nitrid aufweist, dessen Brechungsindex zwischen 1,5 und 3,4 liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
35 bei dem eine Kontrolle des Farbortes (CIE Farbtafel) der Leuchtdioden-Lichtquelle im Verlauf des Abdünnens des aufgetragenen Lumineszenz-Konversionsmaterials durchgeführt

wird, nachdem der vorderseitige elektrische Kontakt freigelegt ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

5 bei dem mittels der Kontrolle des Farbortes der Leuchtdioden-Lichtquelle deren Farbort durch Abdünnen des aufgetragenen Lumineszenz-Konversionsmaterials eingestellt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

10 bei dem

- sich der die Primärstrahlung aussendende Chip in einem Waferverbund mit einer Vielzahl weiterer gleichartiger Chips befindet,
- die jeweiligen Verfahrensschritte für die Chips des gesamten Waferverbundes jeweils gleichzeitig erfolgen,
- die Chips nachfolgend vereinzelt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7,

20 bei dem vor dem Beschichten der Chips mit Lumineszenz-Konversionsmaterial entlang von Trennungslinien zwischen den einzelnen Chips Gräben hergestellt werden, so dass diese Gräben bei dem nachfolgenden Beschichten der Chips mit Lumineszenz-Konversionsmaterial zumindest teilweise mit Lumineszenz-Konversionsmaterial gefüllt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7,

bei dem vor dem Beschichten der Chips mit Lumineszenz-Konversionsmaterial

30

- der gesamte Waferverbund mit der Unterseite auf einen Träger aufgebracht wird,
- die Chips aus dem Waferverbund derart vereinzelt werden, dass sie nach wie vor auf dem Träger zusammengehalten werden,
- die Seitenflanken der vereinzelten Chips zumindest teilweise mit Lumineszenz-Konversionsmaterial bedeckt werden,

11

- die Chips nachfolgend aus ihrem Verbund durch den Träger und das Lumineszenz-Konversionsmaterial ver einzelt werden.

5 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei dem vor dem Vereinzeln der Chips folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

10

- Bestimmen und Erfassen von Farbort und Position der Leuchtdioden-Lichtquellen auf dem Wafer,
- Vereinzeln der Leuchtdioden-Lichtquellen,
- Sortieren der Leuchtdioden-Lichtquellen nach ihrem Farbort.

15 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei dem vor dem Vereinzeln der Chips folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

20

- Bestimmen und Erfassen von Farbort und Lage der Leuchtdioden-Lichtquellen,
- Unterteilen des Wafers in Bereiche mit Leuchtdioden- Lichtquellen von ähnlichem Farbort,
- Einstellen von jeweils einem bestimmten Farbort für die Bereiche mit Leuchtdioden-Lichtquellen von ähnli- chem Farbort durch ein bereichsselektives Abdünnen des Lumineszenz-Konversionsmaterials der einzelnen Bereiche und
- eine Kontrolle des Farbortes von einer der Leucht- dioden-Lichtquellen des jeweiligen Bereiches.

25

Zusammenfassung

Verfahren zum Herstellen einer Leuchtdioden-Lichtquelle mit Lumineszenz-Konversionselement

5

Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zum Herstellen einer insbesondere mischfarbigen Leuchtdioden-Lichtquelle, bei der mindestens ein Teil einer von einem Chip ausgesandten Primärstrahlung mittels Lumineszenzkonversion umgewandelt wird. Es handelt sich hierbei um einen Chip mit einem vorderseitigen (d.h. die Seite, die zur Abstrahlrichtung hingewandt ist) elektrischen Kontakt, auf dessen Oberfläche ein Lumineszenz-Konversionsmaterial in Form einer dünnen Schicht aufgetragen wird. Dazu wird der vorderseitige elektrische Kontakt vor dem Beschichten durch Aufbringen eines elektrisch leitenden Materials auf die elektrische Kontaktfläche erhöht. Nach dem Beschichten wird der elektrische Kontakt durch Abdünnen des Lumineszenzkonversionsmaterials wieder freigelegt. Das Verfahren erlaubt ein einfaches elektrisches Kontaktieren des Chips und somit eine Kontrolle des Farbortes (IEC Farbtafel) noch während des Abdünnens, wodurch ein gezieltes Einstellen eines bestimmten Farbortes möglich ist. Zudem eignet sich das Verfahren insbesondere zur gleichzeitigen Herstellung mehrerer Leuchtdioden-Lichtquellen aus einer Vielzahl gleichartiger Chips in einem Waferverbund.

25
Fig. 1d

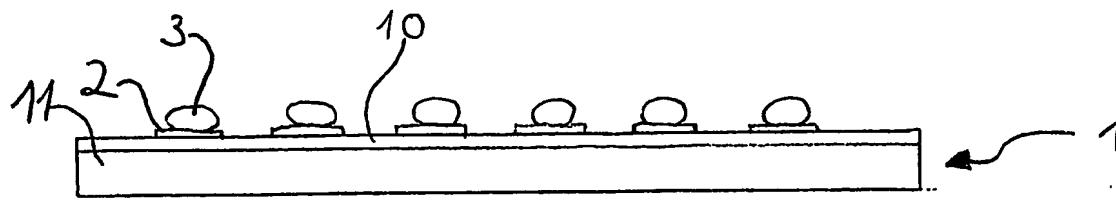
P 2002,0914

Figur 1

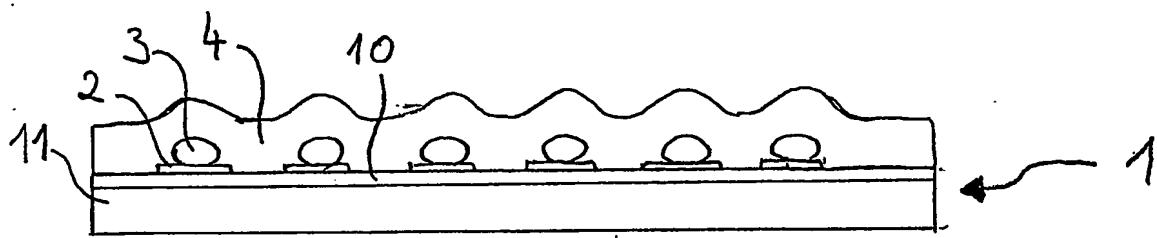
a)



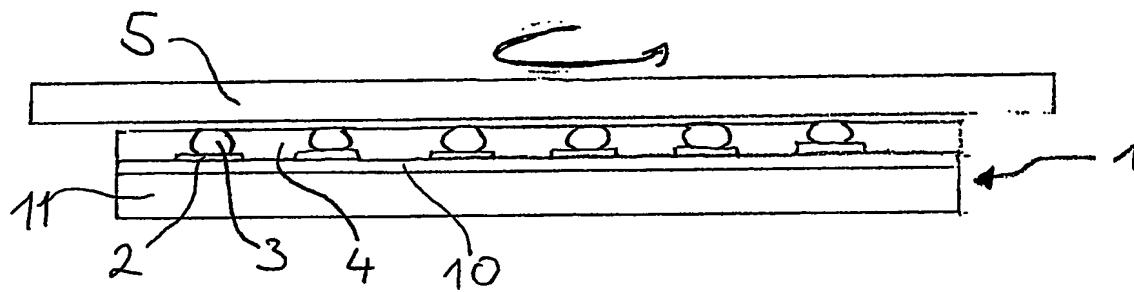
b)



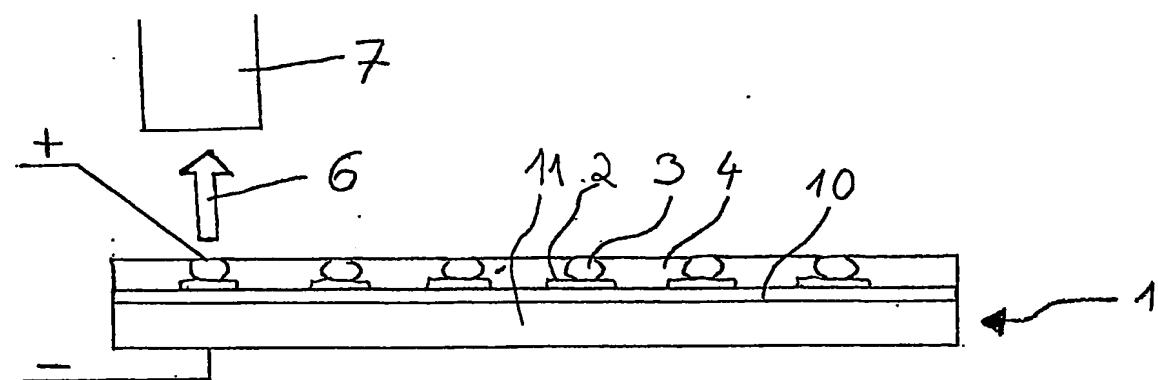
c)



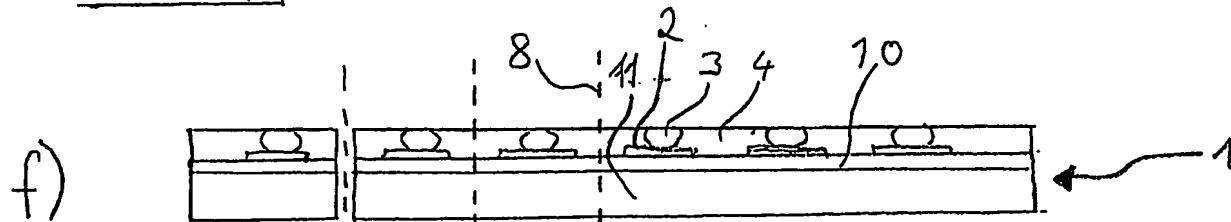
d)



e)



f)



P2002,0914

Figure 2

